

PUENTE PRÍNCIPE DE VIANA SOBRE EL RÍO SEGRE EN LLEIDA

Javier MANTEROLA ARMISÉN

Dr. Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
cfcsl@cfcsl.com

José MONTERO LÓPEZ

Calculista
Carlos Fernández Casado, S.L.

Javier MUÑOZ - ROJAS

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
imrojas@cfcsl.com

Sara FERNÁNDEZ ALONSO

Ingeniero de Caminos
Carlos Fernández Casado, S.L.
sfernandez@cfcsl.com

RESUMEN

El puente príncipe de Viana está formado por un atirantado, diseñado para cruzar el río Segre en medio de la ciudad de Lleida y cuyo paso forma parte del paseo por las riberas del río.

Además del atirantado, el puente tiene un tramo formado por una losa aligerada que se diseña para cruzar la Avenida del Segre.

PALABRAS CLAVE: Puente atirantado, puente extradorsado, hormigón, pretensado, sección cajón.

1. Planteamiento

Pasar de lado a lado un río se puede hacer de muchas maneras, pero pasar de lado a lado del río Segre, en Lleida, en medio de la ciudad, sobre un río tan cuidado y atractivo, no es tan fácil. Se trata de un puente urbano en el que la mirada del transeúnte se va a fijar en su aspecto, proporciones y estética. Cuando ponemos delante de los ojos de los ciudadanos una obra tan contundente como un puente, hay que hacerlo bien.

Para conseguirlo son muchas las personas que han trabajado y puesto su talento al servicio de esa tarea, en el proyecto y en la construcción. Otras, notables y esforzadas, han ayudado mucho por tener una obra que merezca la pena para su querida ciudad. A este respecto siempre he creído que, sin una buena Administración, es imposible hacer algo que se salga de lo normal. En estos casos siempre se arriesga algo, mucho o poco, riesgo que muy frecuentemente quiere evitar la Administración. Hasta el punto que lo que hacemos los ingenieros en nuestro país depende del impulso y riesgo que corre nuestra Administración, en este caso el Excmo. Ayuntamiento de Lleida.

2. Diseño del Puente

Somos de la opinión que un puente atirantado de tamaño medio, no debe ser igual a otro puente grande, pero reducido de escala. Las licencias resistentes y constructivas son bastante mayores en un puente como el que nos ocupa.

El “leiv motiv” de su diseño, según nuestro punto de vista, fue la esbeltez y la espacialidad. Podríamos habernos fijado otros parámetros con los que construir el puente, pero para un puente urbano, en que la gente lo atraviesa todos los días, cuanto más delgado, esbelto y elegante sea el tablero, mejor, y cuando se pasa sobre el puente se le ofrece al usuario un espacio, que siente le rodea y acompaña. Estas dos premisas, esbeltez y espacialidad las hemos juntado y equilibrado

en el puente por medio del sistema de atirantamiento. Abrir las pilas o cerrarlas sobre el tablero configura un espacio definido por la trayectoria de los tirantes. Aquí las hemos abierto, que es lo más adecuado para un puente de tamaño medio como éste, cerrarlas entre sí, produciendo un triángulo, es más



Fig. 1

adecuado para un puente de gran tamaño. Este hecho configura nuestra solución para el puente sobre el Segre, como una solución única, bastante sofisticada para su diseño y construcción y cuyo resultado final ha sido satisfactorio. Fig. 1

A ello, a la forma que adquiere lo constructivo, hemos dedicado mucho tiempo. Nos gusta pensar en esto y nos gustaría haber acertado en la forma que realiza la construcción y adquiere su resistencia, y sobre todo, en su presencia, más importante que su difícilmente definible esencia.

2.1. Descripción de la obra

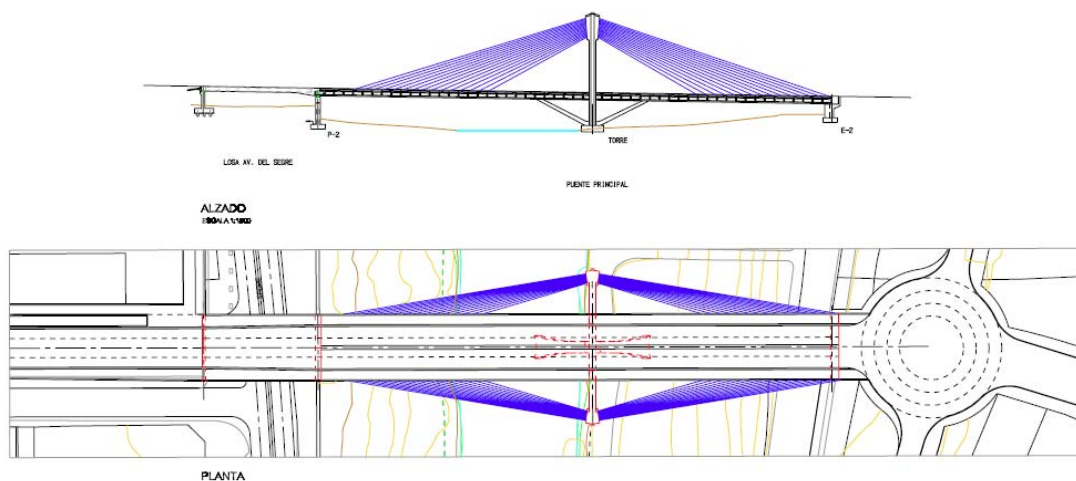


Fig. 2

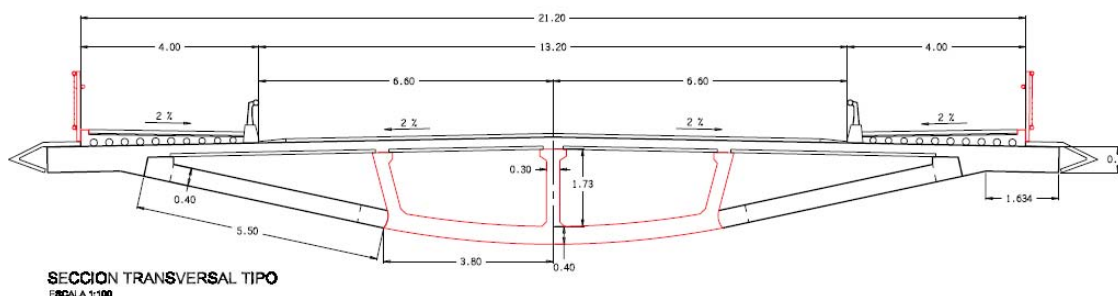
Se trata de una solución atirantada –atirantamiento extradorsal- formada por tres vanos de 35,85 m+86,00 m+75,00 m, dando una longitud total de 196,85 m.

La anchura útil de la plataforma está constituida por dos aceras laterales de 4,00 m y dos calzadas centrales de 6,6 m, determinando una anchura útil de 21,2 m y una total de 22,70 m. Fig. 2.

a) Dintel

El tramo principal, atirantado, tiene una longitud de 161,0 m (86,0 m+75,0 m) y el tramo secundario, sobre la Avda. del Segre es una losa de 35,85 m x 22,70 m.

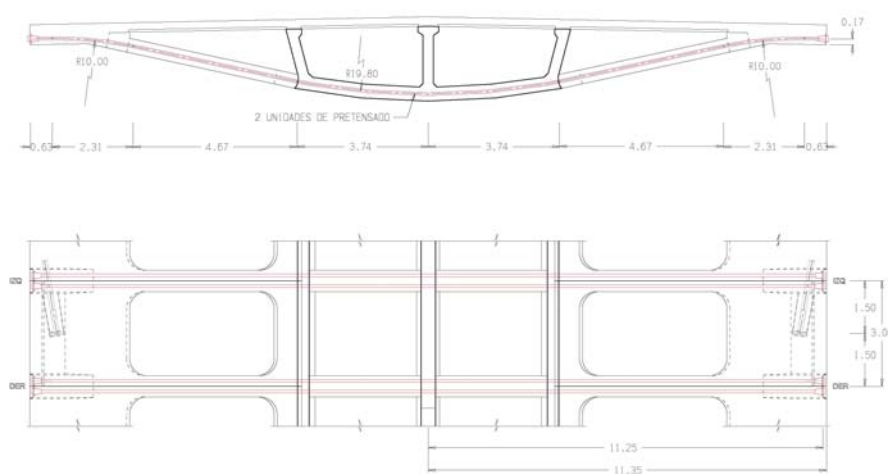
El tramo principal está formado por una viga cajón con un alma central y tiene forma de “U” con el borde inferior curvo con una anchura de las tres almas de 0,30 m y la altura del alma central de 2,13 m. Inicialmente esta viga cajón se constituía por dos vigas en “V” prefabricadas, que al unir las daba la forma total. La escasa longitud de estas vigas aconsejó a la constructora pedir su sustitución por una viga cajón “in situ”. Fig. 3.

**Fig. 3**

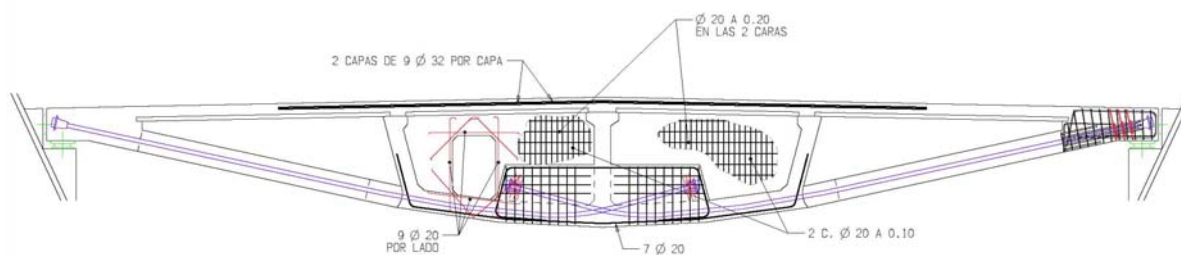
A esta viga se le adosan unas placas transversales rectangulares, aligeradas, de 3,00 m de anchura y 0,40 m de espesor que tienen unos nervios laterales de 30 cm, que forman, al estar unidas entre sí, nervios de 60 x 40 cm.

Sobre este conjunto se disponen prelosas de 7 cm de espesor y sobre ellas se realiza el hormigonado de una losa “in situ” de 20 cm de espesor.

La sección por los nervios está pretensada transversalmente con cables de 3 a 12 cordones de 0,6” según la zona. Fig. 4.

**Fig. 4**

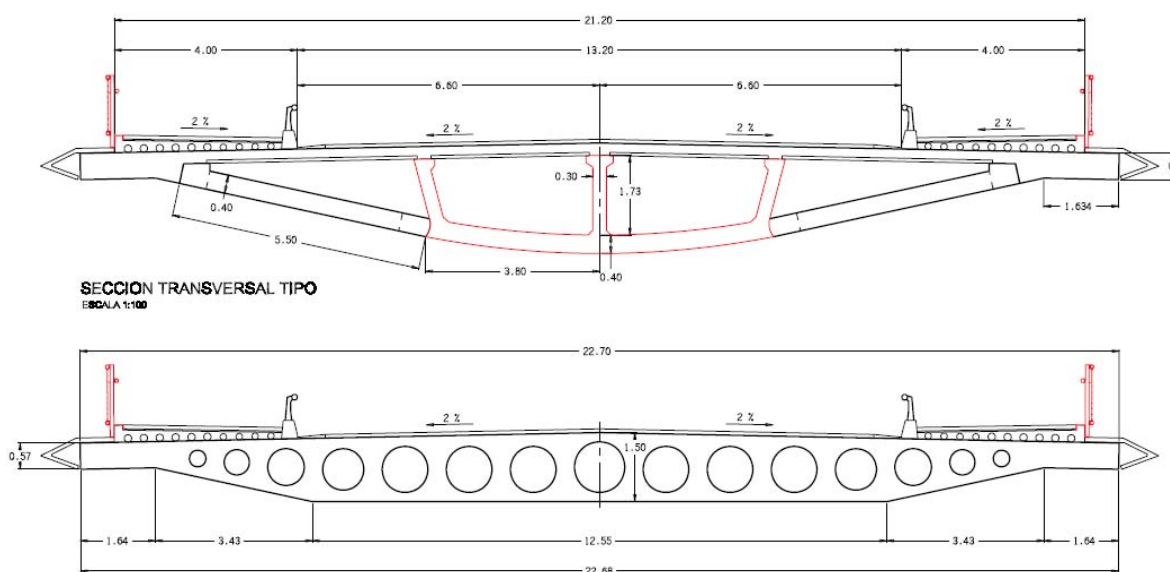
La riostra de apoyo en las atorres tiene un pretensado transversal especial. Fig. 5.

**Fig. 5**

Un problema considerable se nos presentó al tener que dar continuidad al tablero a su paso sobre la Av. del Segre. Nuestra intención habría sido continuar el dintel del río sobre dicha avenida, pero el gálibo de paso era muy insuficiente, de los 2,13 m de canto había que pasar a 1,5 m, y para ello adoptamos la solución de realizar un corte horizontal en la sección tipo para eliminar la parte curva inferior del dintel, mientras se conservaban todos los laterales y se mantenía la continuidad longitudinal.

En la parte inferior del dintel se realizaba una brusca transición que tiene todo el sentido.

De una viga cajón se pasa a una losa maciza aligerada con alveolos circulares variando de diámetro entre 0,36 m y 1,10 m. Fig. 6.

**Fig. 6**

Este tramo comparte con el tramo principal la pila sobre la que ambos se apoyan y que está situada sobre el muro de separación entre la Av. del Segre y el río. El tramo principal se apoya sobre esta pila mediante dos apoyos pot de 1600 Tn y el tramo de acceso sobre el dintel principal, mediante una media madera, por medio de dos apoyos de neopreno zunchado de 700 x 700 mm.

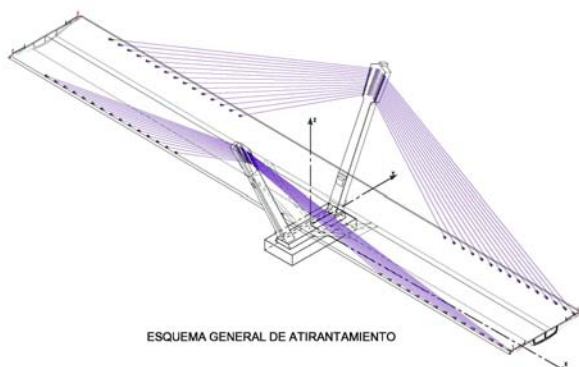
**Fig. 7**

La cimentación de esta pila es una zapata de 21,00 m x 9,00 m x 3,00 m.

La altura vertical de las pilas inclinadas que sostienen los tirantes es de 38,6 m. Su sección transversal varía desde una sección rectangular de 2,4 m x 3,00 m a una sección formada por dos rectángulos de 2,4 m x 2,0 m y 0,4 m x 1,2 m. Este segundo rectángulo tiene como misión aligerar visualmente la pila en dirección frontal.

**Fig. 8**

En la parte superior aparece una cabeza de unos 8,75 m de altura y anchuras variables entre 3,8 m y 4,8 m, con un incremento de anchura para el alojamiento de los cables con una curvatura adecuada.

**Fig. 9**

Los tirantes (Fig. 9) están formados por 12 torones de 0,6" de diámetro, los números 5 al 15, por 14 torones los números 2 a 4 y por 16 torones el número 1, que va al estribo. Estos tirantes son pasantes a través de la pila determinando unos radios de curvatura entre 3,25 y 6,05 m. El tirante queda anclado en la pila por rozamiento y adherencia sobre la vaina metálica que utiliza para atravesar la pila. (Fig. 10).

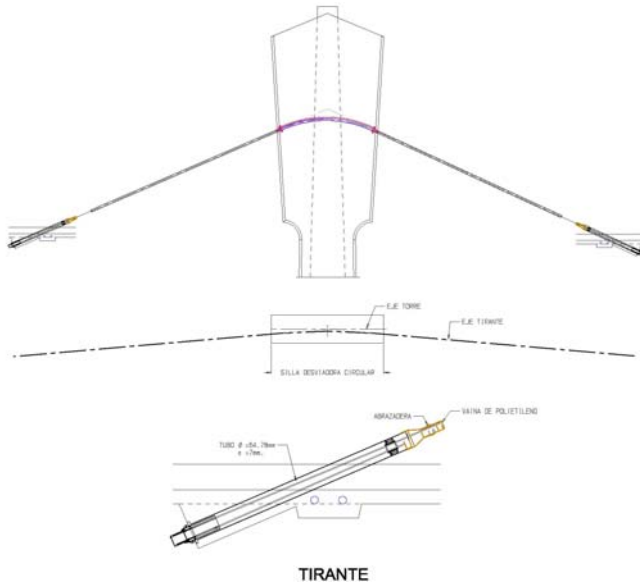


Fig. 10

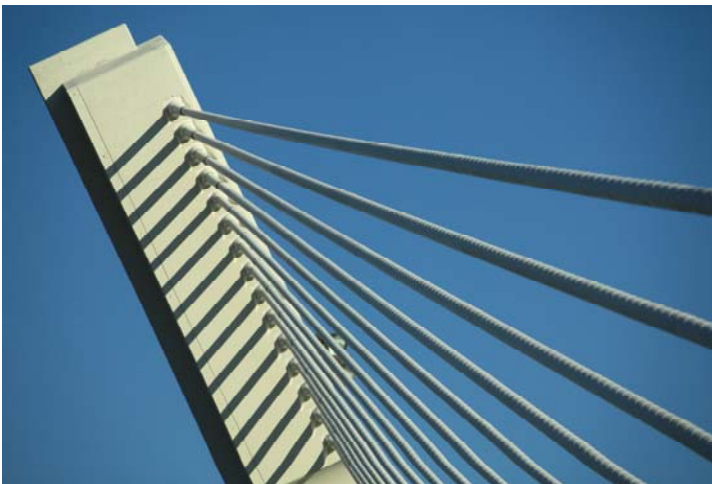
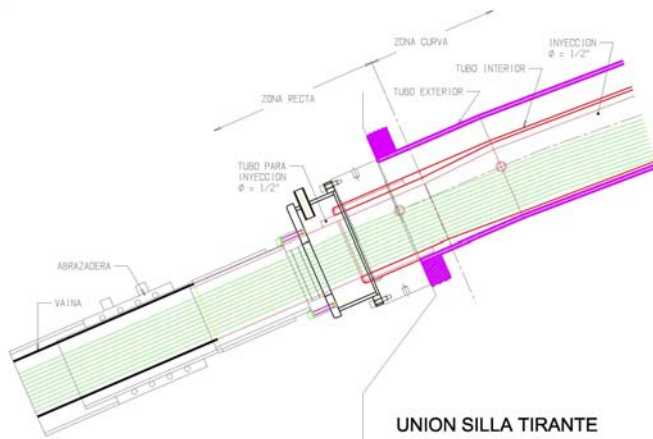
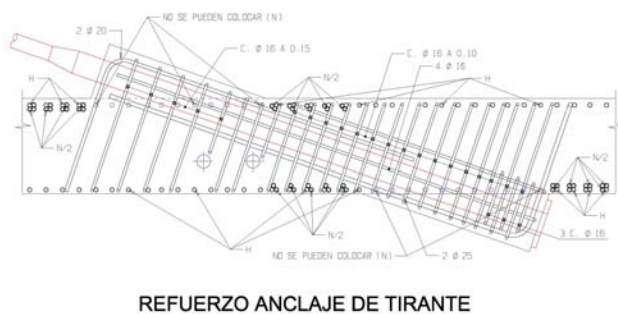


Fig. 11

Se disponen excéntricos a la pila, del lado interior, para compensar la flexión hacia fuera de la misma. Fig. 11.

El encuentro de las vainas de los tirantes con la torre (Fig. 12) se realiza mediante una unión telescópica pero que evitan los movimientos relativos de la torre y los tirantes.

**Fig. 12****REFUERZO ANCLAJE DE TIRANTE****Fig 13**

El encuentro de los tirantes con el tablero, necesita de un armado especial para poder recoger los esfuerzos múltiples que se presentan en esta zona. Fig. 13.

Los brazos cortos que apoyan al dintel tiene una longitud de 17,16 m y unas dimensiones inferiores de 3,6x1,3 m y superior de 5,1 m x 0,93 m.

c) Estribos

**Fig. 14**

Este estribo está aligerado interiormente y se cimenta sobre una zapata de 1,1, m de espesor y variable en superficie para acoplarse a la planta.

El estribo 2 tiene planta trapecial con 2,33 m de ancho mínimo y 5,5 m de ancho máximo.

Su altura es de 6,74 m. La sección vertical deja la forma circular para coger al dintel con dos apoyos de neopreno de 500x600x129 (93) separados entre sí 5,5 m. Fig. 14.

Lateralmente se disponen dos anclajes verticales formados por dos tirantes de 7 torones de 0,6" para contrarrestar la componente vertical del tirante 1.

El estribo 1 enlaza la losa sobre la Av. del Segre con la estación de autobuses.

Está formado por un muro frontal de 13,20 m de anchura y una altura sobre la zapata de 5,25 m.

El espesor de este muro es de 1,00 m y está cimentado sobre 21 pilotes de 0,65 m a través de un encepado de 14,20 x 6,00 x 1,50 m.

c) Estación de autobuses

Detrás del estribo 1 están situadas sendas rampas de subida y bajada y la estación de autobuses.



Fig. 15

Los muros de las rampas tienen un espesor de 60 cm y están cimentados sobre pilotes de 1,00 m de diámetro.

Sobre estos muros se sitúa una losa continua de 24,84 m de anchura y 98 m de longitud con un espesor de 80 cm.

Las rampas de subida y bajada están formadas por una losa de 60 cm de espesor empotrada en los muros. Fig. 15.

e) Detalles

El dintel dispone a lo largo de toda su longitud de una imposta de forma quebrada, barandilla y defensas, así como sendas juntas de dilatación.



Fig. 16

Las aceras están perforadas con tubos para alojar conducciones. Todo el puente está pintado de color blanco, excepto la zona interior entre las costillas y la viga principal, que es de color azul oscuro.

Todo el puente está iluminado ornamentalmente. Esta iluminación consta de los siguientes elementos:

- 100 proyectores de 150 W colocados en el interior de cada una de las costillas del dintel.
- 60 proyectores de 250 W colocados en la base de cada uno de los tirantes y dirigidos según la dirección de los tirantes.
- 8 proyectores de 250 W para iluminar la pila principal, dos proyectores en cada pila inclinada. Fig. 17.

Junto con estos proyectores principales de tipo ornamental se han dispuesto en las barandillas tubos longitudinales continuos para iluminar las aceras de peatones. Para iluminar el resto de la calzada se han colocado cuatro torres, 2 sobre el E-2 y 2 en el muro de separación entre el río y la Avda. del Segre y 6 proyectores en las pilas principales.

3. Cálculo del puente

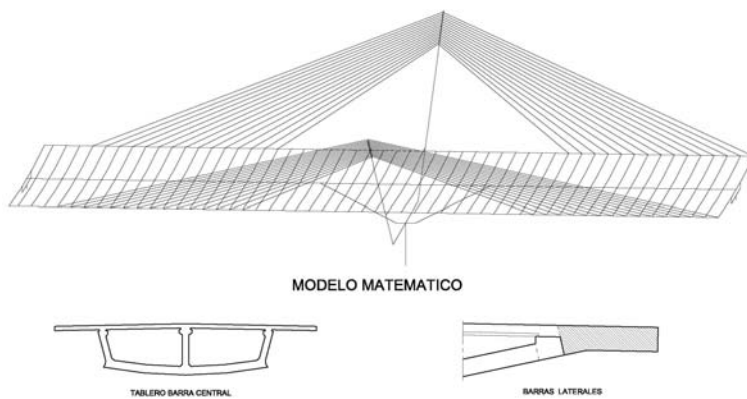


Fig. 17

El puente principal se calcula con un modelo de barras tridimensional en el cual se manifiestan tres barras longitudinales, para discretizar el tablero, las torres, puntales, cables y cimentaciones y se han realizado 217 hipótesis de carga, cuyos máximos y mínimos se representan en las Figs. 18, 19 y 20.

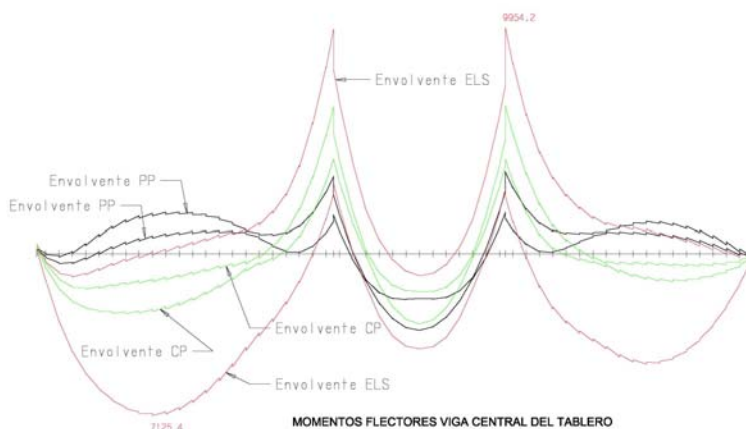
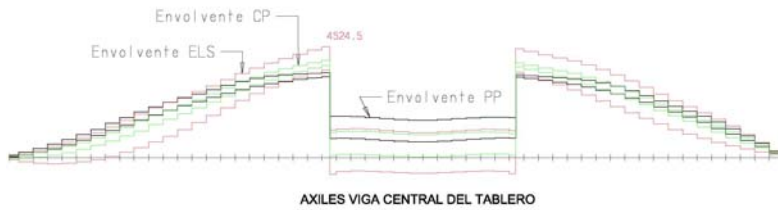
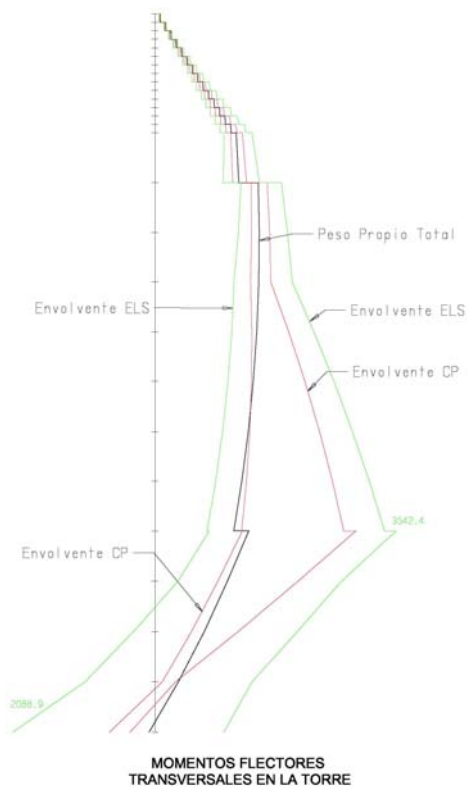


Fig. 18

De este modelo y con las cargas correspondientes se obtienen unos momentos flectores (Fig. 18) en la viga central del tablero, unos axiles en la misma (Fig. 19), unos momentos flectores transversales en la torre (Fig. 20), y todo el resto de esfuerzos que nos permiten dimensionar la estructura.

**Fig. 19****Fig. 20**

La losa sobre la Av. del Segre se calcula también con un modelo de barras, y de éste se deduce el pretensado necesario para soportar los esfuerzos existentes.

La losa de la estación de autobuses se calcula mediante un modelo de elementos finitos, que nos permite obtener la armadura necesaria.

4. Proceso constructivo



Fig. 21

El cálculo del proceso constructivo se realiza sobre un modelo evolutivo que nos proporciona los diferentes esfuerzos por los que van pasando todos los elementos de la estructura en las diferentes fases de construcción hasta llegar a la estructura completa.

Sobre ésta se colocan todos los elementos que componen la carga muerta, aceras, asfalto, defensas, barandillas, impostas, etc.



Fig. 22

Puente principal sobre el río

1º) Se hormigonan las cimentaciones, estribo 2 y las provisionales.

2º) Se hormigonan las pilas inclinadas longitudinalmente y la pila 3. Fig. 21.

3º) Se hormigona la viga central (Fig. 22).

4º) Se colocan las costillas a los lados de la viga principal y se hormigona la losa superior, pretensándola transversalmente (Fig. 23)

5º) Se prefabrican las torres principales y se colocan en su posición, hormigonando

la unión (Fig. 24).

6º) Se colocan y se tesan los tirantes (Fig. 25).

7º) Se hormigonan las aceras y se realizan las terminaciones (Fig. 26).

**Fig. 23****Fig. 24****Fig. 25**

Losa sobre la Av. Del Segre

- 1º) Se hormigonan las cimentaciones y el estribo 1.
- 2º) Se hormigona la losa y se pretensa.
- 3º) Se hormigonan las aceras y se realizan las terminaciones.

Estación de autobuses

- 1º) Se hormigonan las cimentaciones, muros y pilares.
- 2º) Se hormigonan la losa.
- 3º) Se hormigonan las aceras y se realizan las terminaciones.

**Fig. 26**

Agradecimientos y reconocimientos

Al principio de esta presentación he señalado la importancia trascendental que tienen todos los que han trabajado en esta obra para el buen éxito de la misma.

En primer lugar es necesario destacar el empuje del Excmo. Sr. Alcalde de Lleida D. Ángel Ros Domingo que con la Sra. Concejala Dña. Marta Camps Torrens han apoyado, empujado y ayudado a que esta obra fuera posible. No es frecuente encontrar un apoyo tan decidido y entusiasta.

En este primer término también hay que hablar de nuestro compañero Fernando Cequier, ingeniero del Ayuntamiento, sin cuya dirección habría sido difícil y mucho más complicado hacer este puente y de Merche Calleja, buena amiga y colaboradora eficaz.

Quiero señalar en segundo lugar y con entusiasmo la entrega de los ingenieros de la empresa constructora COMSA, encabezados por Jordi Fontanet y seguido por Josep Ramón, Jesús Pérez y Emma Montero. Siempre he dicho que para hacer un puente de este tipo hace falta experiencia, ó mejor aún, inteligencia y entusiasmo y aquí hemos contado con ello a raudales.

Ya, desde nuestra empresa han trabajado Javier Muñoz Rojas, José Montero, Sara Fernández, Gregorio Carmona y el autor del artículo.

Ficha técnica.

Propiedad:

- Ayuntamiento de Lleida. Fernando Cequier (ICCP) Merche Calleja

Proyecto:

- Carlos Fernández Casado S.L. Javier Manterola (ICCP), José Montero (Calculista), Javier Muñoz-Rojas (ICCP)

Asistencia Técnica:

- Carlos Fernández Casado S.L. Javier Manterola (ICCP), José Montero (Calculista), Sara Fernández (ICCP)
- Taller d'enginyeria Ambiental. Ramiro Aurín, Walter Benitez

Construcción:

- COMSA. Jordi Fontanet, Josep Ramón, Jesús Pérez, Emma Montero
- Tirantes: Freyssenet